

## AVALIAÇÃO DOS ATRIBUTOS DO SOLO EM DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO E USO: UMA ANÁLISE COMPARATIVA

Lucas Pereira Scheidt Feltz<sup>1</sup>, Thiago Shaniuk Guse<sup>2</sup>, Adalci Leite Torres<sup>3</sup>, Isabela Leticia Pessenti<sup>4</sup>, Auane Aparecida Canavarro Maia<sup>5</sup>, Marina Couto<sup>6</sup>, André Luiz Oliveira de Francisco<sup>7</sup>.

**RESUMO** – O solo pode ser definido como um meio capaz de armazenar e fornecer água e nutrientes para o cultivo de plantas. O manejo pode ser definido como o conjunto de todas as práticas aplicadas a um solo visando a produção agrícola. Incluindo operações de cultivo, práticas culturais, práticas de correção e fertilização. Os princípios da conservação do solo, englobam o uso de cobertura vegetal, a adoção de sistemas de rotação de culturas, a aplicação de técnicas de controle de erosão, como a construção de terraços e a prática de cultivo mínimo. Entre os principais tipos de manejo pode-se destacar os sistemas de plantio direto, manejo convencional, sistema lavoura-pecuária, cultivo mínimo, integração lavoura-pecuária-floresta. Entende-se que o manejo adequado do solo é fundamental para garantir a sustentabilidade da produção agrícola. Desse modo, objetivou-se avaliar os atributos físicos em diferentes sistemas de uso e manejo do solo. O experimento foi conduzido em uma fazenda localizada no município de Tibagi-PR, foi avaliado as características de densidade do solo, porosidade total, resistência a penetração e capacidade de retenção de água para as áreas com diferentes tipos de manejo do solo. Foram realizadas 10 coletas em cada área analisada. Os dados foram submetidos à análise de variância e posteriormente ao teste de comparação de médias de Tukey a 5%. O sistema lavoura-pecuária apresentou melhores resultados na camada superficial do solo. Contudo, na análise de variância observou-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos, possivelmente devido ao plantio direto analisado ser recém instalado.

**Palavras-chave:** Atributos físicos; Plantio Direto; Sistema Integração lavoura-pecuária.

## EVALUATION OF SOIL ATTRIBUTES IN DIFFERENT MANAGEMENT AND USE SYSTEMS: A COMPARATIVE ANALYSIS

**ABSTRACT** – Soil can be defined as a medium capable of storing and providing water and nutrients for plant cultivation. Management can be defined as the set of all practices applied to a soil aimed at agricultural production. Including cultivation operations, cultural practices, amendment and fertilization practices. The principles of soil conservation include the use of vegetation cover, the adoption of crop rotation systems, the application of erosion control techniques, such as the construction of terraces and the practice of minimum cultivation. Among the main types of management, direct planting systems, conventional management, crop-livestock system, minimum cultivation, crop-livestock-forest integration can be highlighted. It is understood that adequate soil management is essential to guarantee the sustainability of agricultural production. Thus, the objective was to evaluate the physical attributes in different soil use and management systems. The experiment was conducted on a farm located in the municipality of Tibagi-PR, evaluating the characteristics of soil density, total porosity, resistance to penetration and water retention capacity for areas with different types of soil management. 10 collections were carried out in each area analyzed. The data were subjected to analysis of variance and subsequently to the Tukey mean comparison test at 5%. The crop-livestock system showed better results in the surface layer of the soil.

<sup>1</sup> Bolsista de iniciação científica, graduado em Agronomia da Unicesumar, Ponta Grossa, PR. E-mail: lucasscheidtfeltz@gmail.com

<sup>2</sup> Engenheiro Agrônomo. Mestrando em Agronomia – Universidade Estadual de Ponta Grossa. Ponta Grossa, PR. E-mail: thiago10guse.tg@gmail.com

<sup>3</sup> Doutor em Agronomia. UNESP. E-mail: adalcitorres@gmail.com

<sup>4</sup> Doutora em Agronomia. Universidade Estadual de Ponta Grossa. Ponta Grossa, PR. E-mail: isabelaleticiapessenti@gmail.com

<sup>5</sup> Graduada em Agronomia da Unicesumar, Ponta Grossa, PR. E-mail: auanecanavarro@gmail.com

<sup>6</sup> Bolsista de iniciação científica, graduada em Agronomia da Unicesumar, Ponta Grossa, PR. E-mail: marin.acouto@hotmail.com

<sup>7</sup> Engenheiro Agrônomo. Doutor em Ciências do Solo e Recursos Ambientais. Analista em Ciência e Tecnologia – IDR-Paraná. Ponta Grossa, PR. E-mail: alfrancisco@idr.pr.gov.br

However, in the analysis of variance it was observed that there was no significant difference between the treatments, possibly due to the direct planting analyzed being recently installed.

**Keywords:** Physical attributes; Direct Planting; Crop-livestock integration system.

## INTRODUÇÃO

Devido ao grande aumento da população mundial, a demanda por alimentos é cada vez maior. Por intermédio disso o homem tem utilizado o solo sem os devidos cuidados necessários para que os mesmos produzam bem, sem os riscos de desperdício dos recursos naturais (EMBRAPA, 2016). Tendo em vista isso se faz necessário manter uma boa relação entre a produção agrícola e o meio ambiente, medidas para limitar o uso do solo estão no centro das discussões políticas para promulgar leis que visam proteger o meio (BAZZI, 2011).

O manejo e a conservação de solo são temas cada vez mais relevantes na atualidade, por conta do aumento na demanda por alimentos e à necessidade de se preservar os recursos naturais, para que não se tornem cada vez mais escassos. O solo é o recurso mais importante para a produção agrícola, todavia, seu mau uso pode levar à sua degradação e redução da produtividade das culturas agrícolas. Portanto, é fundamental adotar práticas de manejo e conservação do solo que preservem sua qualidade e capacidade produtiva.

Além disso, as utilizações de práticas agroecológicas também podem ser uma opção para a conservação do solo. Segundo Freire et al. (2019), essas práticas envolvem o uso de técnicas que preservem a biodiversidade e a saúde do solo, como a utilização de compostos orgânicos, o controle biológico de pragas e doenças e a redução do uso de defensivos agrícolas. Segundo o estudo de Resende et al. (2019), as adoções de práticas de conservação do solo podem reduzir a erosão em até 95%, além de melhorar a qualidade do solo e aumentar a produtividade agrícola.

O Sistema de Plantio Direto (SPD) é conhecido por não ocorrer o revolvimento do solo, os restos de matérias vegetativos, contribuem para a minimização dos impactos causados pela precipitação pluviométrica reduzindo processos erosivos (Corrêa e Cruz, 1987). Segundo a Embrapa (2009), a grande eficiência no SPD está ligada a palhada das culturas e pelas matérias oriundas das plantas de cobertura, isso faz com que o perfil do solo melhore suas características físicas, biológicas e químicas. A integração Lavoura-Pecuária (ILP) pode ser definida como a introdução de diferentes forças de produção de

grãos, carne, leite, entre outras em uma mesma área de plantio, sendo realizado em consórcio ou em rotação (MANTOVANI; GOMES, 2021).

O manejo adequado do solo é aquele que propicia boa produtividade no tempo presente e que, também, possibilita a manutenção de sua fertilidade, garantindo a alta produção agrícola (EMBRAPA, 2010). É importante avaliar com frequência as características do solo, com o intuito de identificar possíveis problemas e tomar as corretas decisões para corrigir os problemas observados.

Com as análises físicas podemos observar diversos atributos como a capacidade de retenção de água, taxa de infiltração de água, aeração do solo, porosidade, textura, granulometria, entre outros. Como o uso do SPD podemos citar a redução da erosão, a proteção do solo contra ação da chuva e do vento com auxílio da palhada, evitando a erosão e a perda de nutrientes. Para a melhoria da qualidade do solo, a palhada funciona como uma fonte de matéria orgânica, melhorando sua estrutura, textura e capacidade de retenção de água e nutrientes, aumentando a biodiversidade do sistema (FERNANDES; TEJO; ARRUDA, 2019).

Diante do exposto, esse trabalho avaliou os atributos físicos em diferentes sistemas de uso e manejo do solo, apresentando uma visão sobre o manejo e conservação do solo abordando as técnicas de plantio direto e o sistema de integração lavoura-pecuária, objetivando também demonstrar a importância e a necessidade de se realizar o correto manejo e avaliação dos sistemas de produção.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A fazenda utilizada como base para a avaliação dos atributos está a 848 metros ao nível do mar, com latitude 24°48'42" S e longitude 50°47'31" W, localizada na região de Tibagi-PR, apresentando clima com predominância subtropical, e relevo caracterizado como planície sendo pouco acidentado. Apresentando uma área total de 192 ha, sendo 140 ha para o cultivo de grãos, 20 ha para floresta de reserva legal, 27 para a produção de gado e 5 ha de área livre. Na área com foco em grãos são realizados dois tipos de manejo: plantio direto e integração lavoura-pecuária no sistema agropastoril.



O delineamento experimental utilizado foi o de três blocos ao acaso com 4 repetições sendo demarcados 3 pontos em cada parcela experimental.

Na área de plantio direto é realizada a rotação de culturas há mais de dez anos variando entre soja, milho e feijão durante a safra de verão e aveia branca, preta e azevém durante o inverno. A calagem é realizada conforme

a análise de solo realizada a cada 3 anos. Por sua vez, na área destinada ao manejo ILP é realizado a rotação de culturas durante a safra de verão e no inverno são destinados a pastagem com azevém para pastejo do gado os quais são deslocados para a área. Vale destacar que nesse manejo é efetuado o revolvimento do solo, com auxílio de uma grade aradora. Na tabela 1 podemos observar a análise química realizada em ambas as áreas.

Tabela 1 - Atributos químicos dos solos analisados, com valores retirados da análise de solo realizada em 2023

Área experimental	Matéria orgânica		Textura	P	C	pH	Al
	%			mg/dm <sup>3</sup>	g/dm <sup>3</sup>		
SPD	3054		Média	205	18,7	5,1	0
ILP	25,3		Média	7,7	16,5	5,2	0
H+AL	Ca	Mg	K	Soma de bases	CTC	CTC Ef	V%
	cmolc/dm <sup>3</sup>						%
4,78	3,12	2,63	0,25	6	10,7	6	
4,44	3,26	1,47	0,23	4,96	9,4	4,96	52,7

Fonte: os autores.

Fatores externos como o clima, pragas, doenças e a qualidade das sementes podem influenciar nos fatores químicos, físicos e biológicos acarretando em consequências diretas nos resultados do experimento. Para controlar tais variáveis é necessário realizar o monitoramento das condições climáticas, uso de métodos de controle biológico e o manejo de pragas e doenças. Com maior incidência de pragas e doenças, será realizada uma nova entrada na área com equipamentos alinhado a condições não ideais do solo, podem resultar no aumento da compactação. Mudanças climáticas significativas também foram analisadas com cuidado, já que também podem alterar os resultados.

### Capacidade de retenção de água

A capacidade de retenção de água no solo pode expressar a energia da água no solo, devido a força de gravitação das forças capilares e das partículas minerais e orgânicas do solo (TEIXEIRA; FONTANA; TEXEIRA, 2017). O conteúdo volumétrico de água é definido como o volume de água presente em um dado volume de solo seco. O método gravimétrico é uma medição direta do conteúdo de umidade do solo e é o método padrão pelo qual todos os indiretos são calibrados.

Para o cálculo de capacidade de retenção do solo foi utilizada a metodologia presente no Manual de Métodos de Análise de Solo da Embrapa 2017.

As amostras coletadas foram acondicionadas em cilindros metálicos com tule de náilon fixadas por elástico em sua parte inferior.

As amostras foram colocadas com o tule e elástico em bandejas, posteriormente adicionou-se água destilada em temperatura ambiente, para a obtenção da saturação das amostras através capilaridade. Aumentando o nível da água até cerca de 0,5 cm do topo. A saturação é analisada visualmente pelo brilho da água na superfície da cada amostra. Posteriormente à saturação, foram realizadas a determinação da massa das amostras para avaliação da estimativa do conteúdo de água na saturação, com 0 kPa de potencial. Por último as amostras foram colocadas na mesa de tensão com o objetivo de ajustar a coluna de água ao potencial gravitacional desejado.

$$CGA_i = \frac{(P_{as} - M_s)}{M_s}$$

$CGA_i$  – conteúdo gravimétrico de água a determinado potencial (kPa), em kg kg<sup>-1</sup> (para a expressão desse valor em umidade percentual, multiplicar os resultados por 100).

$M_s$  – massa da amostra de solo seca a 105 °C até peso constante, em g.

$P_{as}$  – massa de solo + água contida nas amostras após ser submetida ao potencial estudado, em g.

$$CCA_t = \frac{M_a}{V}$$

Em que:  $CVA_t$  – conteúdo volumétrico de água a determinado potencial (kPa), em  $m^3$ .

$M_a$  – massa de água contida na amostra após ser submetida a determinado potencial

$V$  – volume do cilindro da amostra, em  $cm^3$ .

### Características de densidade do solo

A determinação de densidade do solo tem como objetivo medir a densidade média de um volume conhecido de solo, sendo relacionado com a porosidade total bem como as composições orgânicas e minerais do solo (TEIXEIRA; FONTANA; TEXEIRA, 2017).

Para realizar a determinação do método de densidade do solo e a porosidade total, são utilizados os princípios que envolvem duas fases. A mudança do volume foi determinada através do volume interno do cilindro metálico utilizado na coleta ou por meio da medida do volume do líquido deslocado pelo torrão parafinado ou monólito impermeabilizado (TEIXEIRA; FONTANA; TEXEIRA, 2017)

Para o cálculo de densidade do solo foi utilizada a metodologia presente no Manual de Métodos de Análise de Solo da Embrapa 2017.

Inicialmente foram realizadas as coletas das amostras com o cilindro metálico. Em seguida, foram determinados os parâmetros e anotados em triplicata as medidas do cilindro. Com isso, foram realizados os volumes dos respectivos cilindros. Deve-se remover a amostra do cilindro e transferir para o recipiente numerado e de massa conhecida. Por fim, seca-se as amostras em uma estufa de circulação de ar forçado a 105 °C por 48 horas, posteriormente as amostras foram destinadas a um dessecador e realizada a obtenção das respectivas massas.

$$D = \frac{Ma}{V}$$

$D$  – densidade do solo, em  $kg\ dm^{-3}$  (equivalente a  $g\ cm^{-3}$ ).

$Ma$  – massa da amostra de solo seco a 105 °C até peso constante, em gramas.

$V$  – Volume do cilindro, em  $cm^3$ .

### Porosidade

A porosidade total é a medida de uma fração do volume total de solo que tenha capacidade de ser ocupada

por volume de água e ar. A técnica que se aplica esse método é de fundamental importância para compreensão do movimento e retenção de água, ar e outros solutos no solo (TEIXEIRA; FONTANA; TEXEIRA, 2017). Para se medir a porosidade total podem ser utilizados dois métodos: medida direta e a indireta. Sendo assim, a medida direta é obtida pela quantidade da massa de água que é necessário para sua saturação.

Para o cálculo de porosidade total foi utilizada a metodologia presente no Manual de Métodos de Análise de Solo da Embrapa 2017.

Primeiramente foi preparada a amostra de solo, nivelado as duas superfícies e colocar, na parte inferior, tecido apropriado e bem preso com borracha, obtendo-se assim o conjunto amostra-cilindro-tecido-liga.

Em seguida foram transferidos para um recipiente o conjunto amostra-cilindro-tecido-liga, adicionar, até gerar uma coluna de cerca de 1 cm no anel. Aguardar a ascensão capilar da água até o topo da amostra. Quando a água atingir o topo, completa-se a bandeja com água até que o nível, ficando bem próximo da borda do cilindro. Não submergindo completamente as amostras. Foram deixadas as amostras em tais condições por um período de 12 horas.

Após isso foi retirado o conjunto amostra-cilindro-tecido-liga, colocada a tampa e pesado todo o conjunto. Ao manusear várias amostras, deve-se manter constante o nível de água na bandeja plástica. Logo depois foi retirado da estufa e destinado a um dessecador, logo após foi realizada a pesagem, obtendo a massa do conjunto amostra-cilindro-tecido-elástico.

Por último foi montado o conjunto cilindro-tecido-elástico, colocando na respectiva tampa e pesados, obtendo-se assim a massa do conjunto cilindro-tecido-liga saturado. Essa operação foi necessária para eliminação da massa de água que não estava contida nos poros do solo, e sim adsorvida ao conjunto cilindro-tecido-elástico.

A microporosidade pode ser definida como o volume de poros do solo que possuem diâmetro menor que 0,050 mm, correspondendo à água retida dos poros quando da aplicação e equilíbrio de uma coluna de água de 0,60 m, (TEIXEIRA; FONTANA; TEXEIRA, 2017). A macroporosidade é avaliação da distribuição de poros dos solos por classes de tamanho que separam os poros em duas classes distintas: macroporos, representados por poros não capilares, e microporos, para os capilares (TEIXEIRA; FONTANA; TEXEIRA, 2017).



Para o cálculo da macroporosidade e microporosidade foi utilizado a metodologia presente no Manual de Métodos de Análise de Solo da Embrapa 2017.

Equação para o cálculo de porosidade total.

$$P_t = \frac{[(a - b) - (c - d)]}{e}$$

Em que:  $P_t$  – Porosidade total, em  $m^3 m^{-3}$ .

a – Massa do conjunto amostra-cilindro-tecido-liga saturado, em kg.

b – massa do conjunto amostra-cilindro-tecido-liga seco a 105 °C, em kg.

c – massa do conjunto cilindro-tecido-liga saturado, em kg.

d – Massa do conjunto cilindro-tecido-liga seco a 105 °C, em kg.

e – Volume total da amostra, em  $m^3$ . Nesse caso, assume-se que o volume total da amostra é igual ao volume do cilindro, que pode ser estimado por:

Para o cálculo da macroporosidade e microporosidade foi utilizado a metodologia presente no Manual de Métodos de Análise de Solo da Embrapa 2017. A metodologia é equivalente a apresentada no tópico 2.1 desse trabalho, diferindo-se apenas nas formulas onde:

$$M_i = (a-b) / c$$

Em que:  $M_i$  – microporosidade, em  $m^3$ .

a – massa do solo seco + água retida, após equilíbrio com um potencial de 6 kPa (60 cm de coluna de água).

b – massa do solo seco a 105 °C, em gramas.

c – volume total da amostra, em  $cm^3$  (nesse caso, assume-se que o volume total da amostra é igual ao volume do cilindro).

$$M_a = (P_t - M_i)$$

Em que:  $M_a$  – macroporosidade, em  $m^3$ .

$P_t$  – porosidade total, em  $m^3$ .

$M_i$  – microporosidade, em  $m^3$ .

### Resistência a penetração

A resistência do solo à penetração é uma das propriedades físicas do solo diretamente relacionados com o crescimento das plantas (LETEY, 1985). Ela varia conforme o tipo de manejo do solo utilizado. A compactação pode causar deformação nas raízes

impossibilitando o crescimento e causando deformações, prejudicando o desenvolvimento da planta (TORMENA et al., 2002). Desta forma, a resistência do solo à penetração é fundamental para a avaliação dos efeitos dos sistemas de preparo no ambiente físico do solo para o crescimento das plantas (TORMENA et al., 2002).

A resistência à penetração foi determinada por meio de um penetrômetro de impacto (FALKER PLG 1020). A determinação ocorre através de cone metálico inserido diretamente no solo, indicando as profundidades (0-60 cm), o valor de pressão da compactação do solo. Para interpretação dos resultados será utilizado o software de compactação de solo da Falker v. 1.41/ de 2011 que permite a visualização e a análise dos dados.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Capacidade de retenção de água

No sistema de cobertura vegetal, a presença de matéria orgânica no solo é fundamental para aumentar sua capacidade de retenção de água. A matéria orgânica funciona como uma esponja, absorvendo e retendo a água, permitindo que ela fique disponível para as plantas por mais tempo. Outro fator importante é a estrutura do solo (LINS, 2003).

Para o conteúdo gravimétrico de água (Figura 1A) foram obtidos os valores 25,27% para ILP e 22,72% para SPD. De acordo com trabalho desenvolvido por Santos et al. (2011) o índice volumétrico no sistema de ILP variou entre 31 e 35%. Já para o plantio direto, em estudos realizados por Pereira et al. (2018), o índice variou entre 27 e 29%. Na Figura 1B podemos observar valores muito semelhantes entre os dois manejos sendo 0,43  $m^3$  para ILP e 0,42  $m^3$  para SPD. De acordo com o estudo realizado por Marchão et al (2007), encontrou valores semelhantes sendo 0,37  $m^3$  para ILP e 0,40  $m^3$  para SPD. Esses resultados ocorrer por conta da maior infiltração e menor evaporação de água, decorrentes, respectivamente, da ausência de formação de selamento superficial e de cobertura do solo (COSTA et al. 2003).

ILP possui as maiores porcentagens devido ao revolvimento do solo nas camadas superficiais no momento do plantio, isso justifica o maior conteúdo gravimétrico e volumétrico da água. Como no sistema de plantio direto não houve revolvimento o solo tende a ser mais compactado na camada superficial (0-10 cm), reduzindo dessa maneira a capacidade de retenção de água. Entretanto não houve diferença significativa entre as duas áreas analisadas.

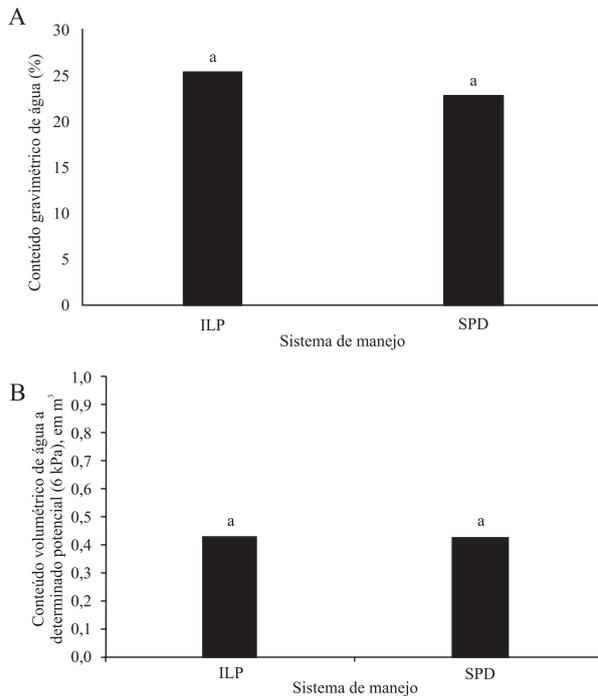


Figura 1 - (A) Conteúdo gravimétrico; (B) Conteúdo volumétrico.

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey para um nível de 5% de probabilidade. ILP: Integração lavoura-pecuária. SPD: Sistema de Plantio direto. Fonte: os autores, 2023.

### Características de densidade do solo

Como pode ser observado no gráfico (Figura 2) a densidade observada para o ILP ficou em  $1,44 \text{ g cm}^{-3}$  o qual apresentou o valor de densidade um pouco a baixo do SPD onde a densidade final obtida apresentou  $1,46 \text{ g cm}^{-3}$ . Após análise de variância, não houve diferença significativa entre os tratamentos.

De acordo com Silva et al. (2000), o tráfego intenso de animais, causa compactação, com redução severa da macroporosidade, aumentando a densidade do solo e a redução da infiltração de água.

De acordo com Seron et al. (2013), os valores encontrados para densidade no sistema de ILP variaram entre  $1,5$  e  $1,55 \text{ g cm}^{-3}$ . Este comportamento pode ser explicado pela quantidade de raízes decompostas após a dessecação da pastagem e também pelo revolvimento do solo feito pelos discos (SERON et al., 2013).

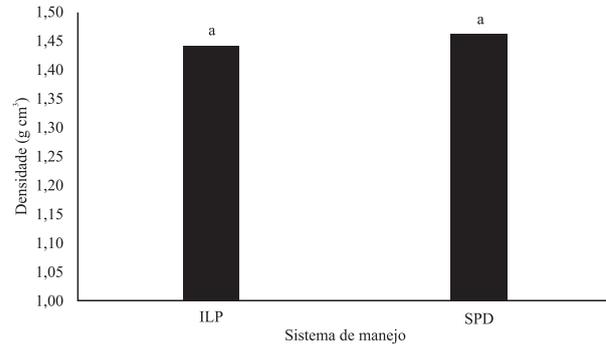


Figura 2 - Densidade do solo.

Médias seguidas das mesmas letras na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey para um nível de 5% de probabilidade. ILP: Integração lavoura-pecuária. SPD: Sistema de Plantio direto. Fonte: os autores, 2023.

A baixa precipitação pluviométrica na região influenciou nos resultados. De acordo com a Embrapa (2021), em condições de pouca umidade, o solo pode apresentar densidade variando de  $1,3 - 1,5 \text{ g cm}^{-3}$ . Entre tanto após as primeiras chuvas, a matéria orgânica umedecida ampliar-se, e a densidade cai para valores próximos de  $1,0 \text{ g cm}^{-3}$  e, portanto, a densidade inicialmente mais elevada, no fim, não chega a influenciar negativamente o desenvolvimento de plantas.

### Porosidade

A porosidade do solo na lavoura-pecuária é um elemento importante para o crescimento saudável das plantas e o desenvolvimento adequado das raízes. A porosidade total, garante a circulação adequada de ar, água e nutrientes no solo, proporcionando condições favoráveis para o crescimento das plantas e das raízes (CORSINI & FERRAUDO, 2006).

Os valores para porosidade foram superiores no sistema ILP, com exceção da macroporosidade onde ambos os valores foram de 7,7%, já para os valores de microporosidade e porosidade total foram de 29% e 36,7% respectivamente, em contrapartida para o SPD os valores encontrados foram de 26,5% e 32,19% (Figura 3).

De acordo com estudos de Vieira e Klein (2007), outro fator que pode sustentar o fenômeno observado é que solos com histórico de aplicação do SPD geralmente apresentam menor porosidade, quando comparados ao preparo com revolvimento. Essas discrepâncias estão

provavelmente relacionadas à interrupção do preparo mecânico do solo e ao acúmulo dos efeitos de compactação resultantes do tráfego de máquinas ao longo dos anos de cultivo (EGEWARTH, 2020).

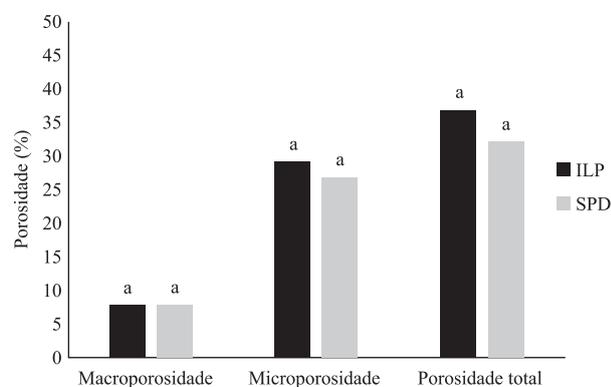


Figura 3 - Porosidade para os sistemas ILP e SPD.

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey para um nível de 5% de probabilidade. ILP: Integração lavoura-pecuária. SPD: Sistema de Plantio direto. Fonte: os autores, 2023.

O sistema ILP onde houve revolvimento do solo na camada de 0-10cm, proporcionou valores maiores para porosidade em relação a área de SPD. Concordando com os resultados obtidos por Stone e Silveira, (2001), Seron et al., (2013) e Dapper, (2020). Os dados mostraram que os valores de macroporosidade, microporosidade e porosidade total não tiveram diferença significativa, entre as áreas analisadas. Para a profundidade estudada, os valores de ILP foram maiores devido ao revolvimento da camada superficial do solo.

### Resistência à penetração

A resistência à penetração do solo e a compactação são comumente causadas pelo tráfego de máquinas por ocasião da semeadura, tratos culturais, colheita, transporte e pelo pisoteio de animais em áreas de pastejo (SILVA; REINERT; REICHERT, 2000).

A resistência à penetração foi maior na camada superficial onde não houve o revolvimento do solo ocasionando maior compactação (Figura 4A). A partir da camada de 0-5 cm a resistência à penetração foi maior do sistema de ILP (Figura 4B). Esse fenômeno ocorreu por conta do revolvimento superficial do solo pela grade aradora no momento do plantio do azevém, proporcionando à formação da camada mais compactada abaixo da profundidade de atuação do implemento. Podemos levar

em consideração o pisoteio dos animais na área em safras passadas, o que justifica a compactação ser maior do que na área de SPD.

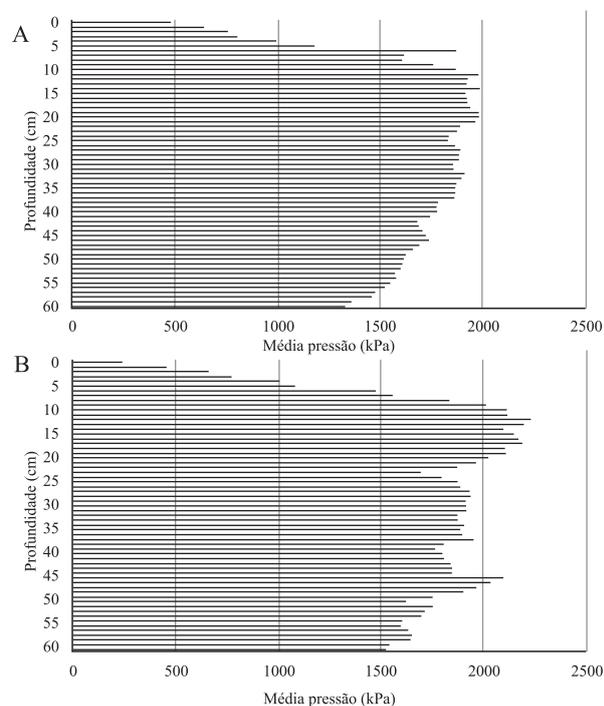


Figura 4 - (A) Resistência à penetração a penetração em SPD; (B) Resistência à penetração em ILP.

Fonte: os autores, 2023.

Resultados semelhantes foram obtidos por Valente et al. (2019), onde foi avaliada a resistência do solo à penetração sob diferentes cultivos, verificando maiores valores de resistência a penetração no sistema de plantio direto na camada superficial com valores de 1666 kPa para camadas superiores. A partir de 15 cm os resultados de resistência a penetração foram maiores no sistema onde houve o revolvimento do solo (VALENTE et al., 2019).

Valores de resistência mecânica acima de 2000 kPa afetam negativamente a penetração das raízes, a aeração e a disponibilidade de água e nutrientes no solo (SILVA, 2020).

### CONCLUSÕES

O não-revolvimento do solo ocasionou maior compactação da camada superficial do solo sob plantio

direto, em comparação ao sistema de integração lavoura-pecuária, corroborada pelos maiores valores de densidade e menores valores das porosidades. Na área de ILP onde houve o revolvimento superficial pela grade aradora que promoveu a menor densidade e os maiores índices de porosidade assim como maior capacidade de retenção de água.

Para os dados de capacidade de penetração na área de ILP houve à formação de uma camada mais compactada abaixo da profundidade de atuação do implemento utilizado para o revolvimento do solo, possivelmente os animais que trafegam pela área durante o inverno colaboram para a maior compactação, sendo necessária futuras observações sobre o tráfego dos animais. Como as raízes necessitam perfurar o solo para seu desenvolvimento o SPD é o mais recomendado, já que no sistema de ILP a partir de 9 cm a média de pressão ultrapassou os 2000 kPa, dificultando o desenvolvimento do sistema radicular das plantas.

## REFERÊNCIAS

- Bayer, C., et al. (2014). Estoques de carbono e taxas de sequestro de carbono no solo em sistema integrado lavoura-pecuária no sul do Brasil. *Soil and Tillage Research*, 144, 319-327.
- BAZZI, Claudio Leones. *Software para definição e avaliação de unidades de manejo em agricultura de precisão*. 123 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2011.
- BORNHOLDT, G. C.; FABRIS, J. D.; AMADO, T. J. C.; SCHAFER, G.; GABRIEL, L. F.; LOPES, A. S.; ALCANTARA, E. N. Compactação do solo e seu efeito sobre a produtividade agrícola. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, p. 1277-1296, 2009.
- BRASMAX. BRASMAX TORQUE 57IX60RSF I2X - Sementes - Sementes Giovelli. Disponível em: <<https://www.sementesgiovelli.com.br/sementes/view/id/96/brasmax-torque-57ix60rsf-i2x.html>>. Acesso em: 28 mar. 2023.
- CORREA, L. A.; CRUZ, J. C. *Plantio direto. Manejo do Solo* EMBRAPA. 1987.
- CORDEIRO, L. A. M. et al. Integração lavoura-pecuária e integração lavoura-pecuária-floresta: estratégias para intensificação sustentável do uso do solo. *Cadernos de Ciência e Tecnologia*, Brasília, v. 32, n. 1, 2015.
- COSTA, EUSÂNGELA ANTÔNIA; GOEDERT, WENCESLAU J.; SOUSA, DJALMA MARTINHÃO GOMES. Qualidade de solo submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 41, p. 1185-1191, 2006.
- COSTA, J. et al. *Produtividade de capim marandu em sistema agropastoril*. Universidade Estadual do Piauí Parnaíba, 29 mar. 2023.
- COSTA, NÍDIA RAQUEL et al. Atributos do solo e acúmulo de carbono na integração lavoura-pecuária em sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 39, p. 852-863, 2015.
- DAPPER, F. P. Universidade Federal de Santa Maria Campus Frederico Westphalen *Programa de Pós-Graduação em Agronomia: agricultura e ambiente*. 2020.
- DE OLIVEIRA, HERISON ALVES et al. *Compactação do solo no sistema de integração lavoura-pecuária*. Centro Regional Universitário de Espírito Santo do Pinhal, 2012.
- EMBRAPA. (2021). *Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF)*. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/25123698/integracao-lavoura-pecuaria-floresta-ilpf>. Acesso em: 16 mar. 2023.
- EMBRAPA. (2021). *Plantio direto: conceito e histórico*. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/1460040/plantio-direto-conceito-e-historico>. Acesso em: 16 mar. 2023.
- EMBRAPA. *Aveia - BRS Centauro - Portal Embrapa*. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/1394/aveia---brs-centauro>>. Acesso em: 28 mar. 2023.
- EMBRAPA. *Azevém - BRS Integração - Portal Embrapa*. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/9751/azevem---brs-integracao>>. Acesso em: 28 mar. 2023.
- JUNIOR, MODESTO et al. Cultura da mandioca: Aspectos socioeconômicos, melhoramento genético, sistemas de cultivo, manejo de pragas e doenças e agroindústria. 2016.
- EMBRAPA. *Manejo e conservação do solo*. Disponível em: <[http://www.cpatsa.embrapa.br:8080/sistema\\_producao/spuva/manejo.html](http://www.cpatsa.embrapa.br:8080/sistema_producao/spuva/manejo.html)>.
- FALKER. FALKER - *Suporte*. Disponível em: <<https://www.falker.com.br/br/suporte>>. Acesso em: 4 abr. 2023.
- FERNANDES, C. H. DOS S.; TEJO, D. P.; ARRUDA, K. M. A. Desenvolvimento do Sistema de Plantio Direto no Brasil: Histórico, Implantação e Culturas Utilizadas. *UNICIÊNCIAS*, v. 23, n. 2, p. 83-88, 4 dez. 2019.
- FIDELIS, R.R. et al. Alguns aspectos do plantio direto para a cultura da soja. *Bioscience Journal*, v.19, n.1, p.251-257, 2003.



- FREIRE, F. J., FERREIRA, C. S., & FERNANDES, L. A. Práticas agroecológicas de manejo do solo na produção orgânica de hortaliças. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v.14, n.4, p.24-31, 2019.
- GASSEN, D. N.; GASSEN, F. R. Plantio direto. *Revista Plantio Direto-Março/Abril de*, v. 2010, p. 33, 1996.
- GONÇALVES, SERGIO LUIZ; FRANCHINI, JÚLIO CEZAR. *Integração lavoura-pecuária*. Londrina: Embrapa Soja, 2007.
- HERNANI, L., e DE MELO FILHO, G. A. Sistemas produtivos utilizados em lavouras conduzidas em” Plantio Direto” na região dos cerrados, 2009.
- JUNIOR, JOSUÉ LUIZ MARINHO. et al. Análise dos estoques de carbono no solo sob diferentes coberturas vegetais no Brasil. *Journal of Biotechnology and Biodiversity*, v. 8, n. 1, p. 031-040, 2020.
- KÄMPF, N.; CURTI, N. Formação e evolução do solo (Pedogênese). In: KER, J. C. et al. (Eds.). *Pedologia Fundamentos*. 1. ed. Viçosa, MG: SBCS, p. 207-302, 2012.
- KOCHHANN, R. A., & DENARDIN, J. E. *Implantação e manejo do sistema plantio direto*. Embrapa Trigo. 2000.
- LINS, E. A. M. *A utilização da capacidade de campo na estimativa do percolado gerado no aterro da Muribeca*. masterThesis. Disponível em: <<https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/5804>>. Acesso em: 30 maio. 2023.
- MANTOVANI, Veronica Aparecida da Silva; GOMES, Mirina Luiza Myczkowski. Integração lavoura-pecuária: uma alternativa de produção para a agricultura familiar. *Congresso de Tecnologia - Fatec Mococa*, v. 4, n. 1, 2021. Disponível em: <<https://congresso.fatecmococa.edu.br/index.php/congresso/article/view/179>>. Acesso em: 10 nov. 2023.
- MAPFUMO, E. et al. Soil compaction under grazing of annual and perennial forages. *Canadian Journal of Soil Science*, Ottawa, v.79, n.1, p.191-199, 1999.
- MARCHÃO, R. L. et al. Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob sistemas de integração lavoura-pecuária no Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 42, p. 873–882, jun. 2007.
- OLIVEIRA, E. F., COSTA, J. P. R., & FERREIRA, P. A. Conservação do solo e da água em áreas agrícolas: uma revisão bibliográfica. *Caderno de Ciências Agrárias*, v.12, n.1, p.1-11, 2020.
- PEREIRA, G. S. et al. Importância do tamanho da grade amostral e do número de repetições sobre a variabilidade espacial da resistência do solo em área de produção de soja. , VIII congresso brasileiro de soja, Goiânia, GO, 2018.
- RESENDE, R. A. et al. Soil conservation practices: a review of potential environmental and economic impacts. *Land Degradation & Development*, v. 30, n. 3, p. 279-293, 2019.
- SACHETTI, B. B. A importância da rotação de culturas para o sistema de plantio direto. Repositório Institucional (RI) da Faculdade da Amazônia 2020.
- SANTOS, G. G. et al. Qualidade física do solo sob sistemas de integração lavoura-pecuária. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 46, n. 10, p. 1339–1348, out. 2011.
- SERON, C. DE C. et al. Densidade e porosidade do solo em área de implantação do sistema integração lavoura-pecuária. VII EPCC- Encontro Internacional de Produção Científica Cesumar Unicesumar UNICESUMAR – Centro Universitário Cesumar Editora CESUMAR Maringá – Paraná – Brasil 2013.
- SILVA, A. P.; TORMENA, C. A.; IMHOFF, S. Intervalo hídrico ótimo. In: MORAES, M. H. et al. Culturas antecessoras e adubação nitrogenada na cultura do milho, em sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v.5, p.75-88, 2006.
- SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 24, n. 1, p. 191–199, mar. 2000.
- SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E.; GUIMARÃES, M. F.; MARQUES, J. J. G. S.; LIMA, J. M.; ALVAREZ V., V. H. S. *Compactação do solo: limitações ao crescimento de plantas e métodos de avaliação*. Embrapa Informação Tecnológica, 2005.
- STONE, L. F.; SILVEIRA, PM da. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 25, p. 395-401, 2001.
- TEIXEIRA, P. C.; FONTANA, A.; TEXEIRA, W. G. *Manual de métodos de análise de solo*. - Portal Embrapa. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1085209/manual-de-metodos-de-analise-de-solo>>. Acesso em: 1 abr. 2023.
- TORMENA, C. A. et al. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. *Scientia Agricola*, v. 59, n. 4, p. 795–801, dez. 2002.

VALENTE, G. F. et al. Resistência mecânica à penetração em sistemas de manejo do solo. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 14, n. 1, p. 140–145, 2019.

ZANATTA, J. A., et al. Integrated crop-livestock systems for sustainable soil management: A systematic review. *Land Use Policy*, v.90, n.104284, 2020.

Recebido para publicação em 20/01/2024, aprovado em 18/04/2024 e publicado em 30/04/2024

